

УДК 621.923:669-1

С.В. Носенко, канд. техн. наук, доцент, Волжский политехнический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» (Волжский, Россия) (e-mail: s.v.nosenko@gmail.com)

В.А. Носенко, д-р техн. наук, профессор, Волжский политехнический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» (Волжский, Россия) (e-mail: nosenko@volpi.ru)

Л.Л. Кременецкий, аспирант, Волжский политехнический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» (Волжский, Россия) (e-mail: kreleonid@yandex.ru)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СКОРОСТИ ГЛУБИННОГО ШЛИФОВАНИЯ И ХАРАКТЕРИСТИКИ АБРАЗИВНОГО ИНСТРУМЕНТА НА КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТИ ТИТАНОВОГО СПЛАВА

Рассмотрен процесс глубинного шлифования титанового сплава Ti6Al4V высокопористыми кругами из карбида кремния характеристик 64CF80H12V и 64CF100I12V производства ОАО «Волжский абразивный завод». Морфологию и химический состав поверхностей, полученных на скорости шлифования 20-30 м/с, исследовали на двухлучевом электронном микроскопе. Контроль шероховатости поверхности осуществляли с помощью современного профилографа-профилометра. Химический состав и шероховатость обработанной поверхности определяли в 10 сечениях, равномерно распределенных по длине заготовки. Установлено, что характеристика абразивного инструмента не оказывает влияния на общий характер формирования морфологии поверхности титанового сплава. Доказано, что в результате адгезионно-когезионного взаимодействия концентрация кремния на обработанной поверхности титанового сплава возрастает с увеличением скорости шлифования. Рост скорости шлифования в 1,5 раза обеспечивает увеличение средней концентрации кремния в 1,6-1,8 раза. Изменение твердости шлифовального круга не оказывает существенного влияния на перенос абразивного материала на титановый сплав. Рассмотрено влияние скорости шлифования и твердости инструмента на значения среднего арифметического отклонения профиля Ra по всей длине заготовки, этапах постоянной длины дуги контакта и выхода. Установлено, что значения параметра Ra на этапе постоянной длины дуги контакта больше, чем на этапе выхода – на 30-40 % при обработке кругом 64CF80H12V и на 15-30 %, соответственно, при обработке кругом 64CF100I12V. Увеличение скорости шлифования с 20 м/с до 30 м/с оказывает значимое влияние на шероховатость обработанной поверхности только на этапе выхода.

Ключевые слова: титановый сплав, глубинное шлифование, характеристика круга, скорость шлифования, морфология, шероховатость, карбид кремния.

DOI: 10.21869/2223-1560-2018-22-1-94-100

Ссылка для цитирования: Носенко С.В., Носенко В.А., Кременецкий Л.Л. Исследование влияния скорости глубинного шлифования и характеристики абразивного инструмента на качество поверхности титанового сплава // Известия Юго-Западного государственного университета. 2018. Т. 22, № 1(76). С. 94-100.

Глубинное шлифование относится к числу наиболее наукоемких и высокопроизводительных процессов абразивной обработки [1-3]. Несмотря на достаточно широкое распространение в машиностроении, наиболее проблемным процессом считается глубинное шлифование сплавов на основе титана.

Основной причиной плохой обрабатываемости титановых сплавов является высокая адгезионная активность титана к

абразивному материалу [4-6]. В результате обрабатываемый металл налипает на вершины зерен, продукты износа абразивного инструмента переносятся на обработанную поверхность [7]. В качестве мер обеспечения эффективности процесса рассматривают применение высокопористого абразивного инструмента [2, 8], непрерывную правку [9-11], использование СОТС [12, 13]; выбор направления

подачи заготовки, режимов шлифования и правки [14-17].

Из титановых сплавов изготавливают особо ответственные детали, к качеству поверхности которых предъявляют высокие требования. В связи с этим, повышение эффективности глубинного шлифования титановых сплавов относится к приоритетным задачам абразивной обработки.

Цель работы: исследование влияния характеристики абразивного инструмента и скорости глубинного шлифования на качество обработанной поверхности заготовок из титанового сплава.

Методика исследования. Методом врезного встречного шлифования на профилешлифовальном станке-автомате модели SLS434 с ЧПУ обрабатывали заготовки из титанового сплава Ti6Al4V длиной 40 мм. В качестве абразивного инструмента использовали высокопористые шлифовальные круги 1 500×16×203 характеристик 64CF80H12V и 64CF100H12V производства ОАО «Волжский абразивный завод». Режимы обработки: скорость шлифования v : 20 м/с, 25 м/с и 30 м/с; скорость подачи стола 100 мм/мин, глубина шлифования 1 мм; подача правящего ролика 0,6 мкм/об. Смазочно-охлаждающую жидкость Castrol Syntilo 81 E под давлением 12 бар подавали с двух сторон круга: в зону правки и на гидроочистку круга. Расход жидкости – 200 л/мин. Морфологию и химический состав шлифованной поверхности исследовали на двухлучевом электронном микроскопе Versa 3D. Шероховатость поверхности измеряли профилографом-профилометром Mitutoyo Surftest SJ-410. Химический состав и ше-

роховатость обработанной поверхности определяли в 10 сечениях, равномерно распределенных по длине заготовки.

Результаты исследований. При глубинном шлифовании, в отличие от маятникового, необходимо учитывать особенности формообразования на различных этапах процесса [18]. Удаление материала начинается на этапе врезания. Обработанная поверхность формируется на этапе постоянной длины дуги контакта (ПДДК) и этапе выхода. На этапе врезания глубина шлифования возрастает практически от нуля до максимального значения, соответствующего заданной глубине обработки. На этапе ПДДК глубина шлифования не изменяется, на этапе выхода – снижается до нуля.

Состояние рельефа обработанной поверхности титанового сплава свидетельствует об интенсивном адгезионно-когезионном взаимодействии обрабатываемого материала с абразивным инструментом. В результате адгезионного взаимодействия с абразивным материалом титановый сплав налипает на вершины зерен и на следующем обороте круга, в результате когезионного взаимодействия, переносится на обрабатываемую поверхность.

На этапе ПДДК морфология поверхности приблизительно одинакова, при $l > 22,3$ мм начинается этап выхода. Фактическая глубина резания зерен и длина дуги контакта инструмента с обрабатываемым материалом снижаются. В результате уменьшаются интенсивность налипания металла на вершины зерен шлифовального круга, и, соответственно, перенос этого металла на обработанную поверхность.

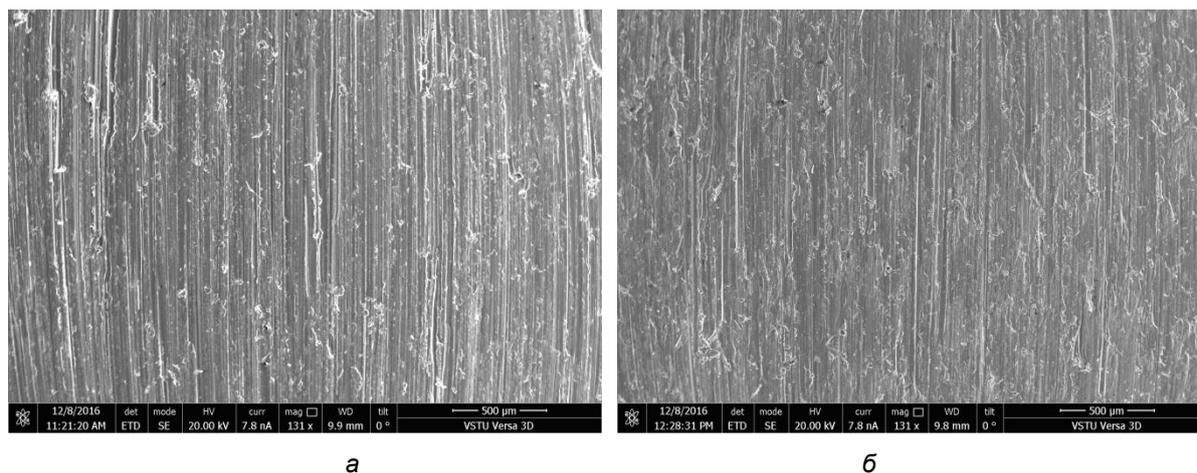


Рис. 1. Морфология обработанной поверхности при шлифовании кругом 64CF80H12V, $f=26,2$ мм, $131\times$: $v=20$ м/с (а), $v=30$ м/с (б)

С увеличением скорости шлифования возрастает количество вершин, проходящих в единицу времени через рассматриваемое сечение обрабатываемой поверхности. Соответственно, увеличивается частота переноса металла на единицу площади обработанной поверхности (рис. 1). Поверхность, полученная на $v=25$ м/с, по состоянию рельефа занимает промежуточное положение между скоростями $v=20$ м/с и $v=30$ м/с.

При шлифовании кругом более высокой твердости 64CF100I12V суще-

ственных отличий в морфологии шлифованной поверхности не установлено.

Изменение условий взаимодействия по длине заготовки отражается на шероховатости обработанной поверхности (рис. 2). Параметр Ra при шлифовании кругом 64CF80H12V на этапе ПДДК в среднем на 30-40 % больше, чем на этапе выхода. Подобная закономерность наблюдается и при шлифовании в других условиях [19]. При шлифовании кругом 64CF100I12V различие в Ra снижается до 15-30 %.

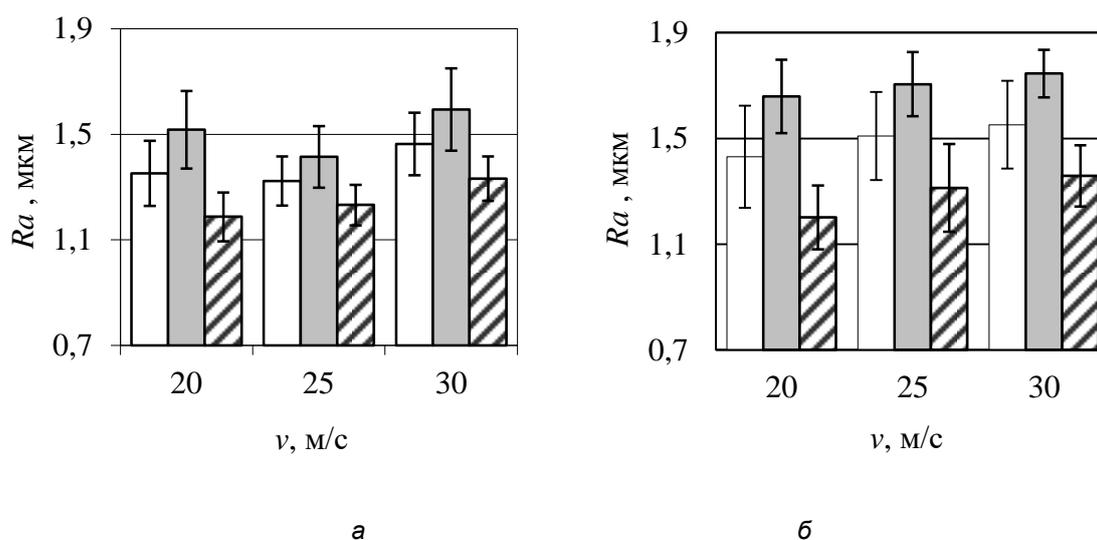


Рис. 2. Среднее значение параметра шероховатости Ra обработанной поверхности на различных скоростях и этапах шлифования кругами 64CF100I12V (а) и 64CF80H12V (б):

□ – по всей длине заготовки; ■ – этап ПДДК; ▨ – этап выхода

Скорость шлифования не оказывает значимого влияния на изменение среднего значения Ra на всей обработанной поверхности и на этапе ПДДК. На этапе выхода при шлифовании кругом 64CF100I12V с увеличением скорости шлифования Ra возрастает значимо.

Результатом адгезионно-когезионного взаимодействия является не только перенос металла на вершину зерна и, далее, на обработанную поверхность, но и перенос на обработанную поверхность продуктов износа шлифовального круга, в том числе кристаллов карбида кремния. Наличие кристалла подтверждено методом локального микрорентгеноспектрального анализа [19].

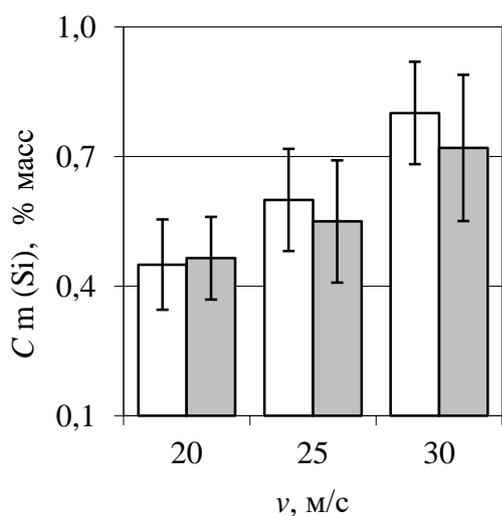


Рис. 3. Влияние v на концентрацию кремния $C_m(Si)$: □ – круг 64CF80H12V; ■ – круг 64CF100I12V

Для оценки общего количества переносимого абразивного материала осуществляли сканирование обработанной поверхности по площади (рис. 3). С увеличением скорости шлифования в 1,5 раза концентрация кремния на поверхности титанового сплава возрастает в 1,6-1,8 раза. Значимого влияния характеристики

шлифовального круга на $C_m(Si)$ не установлено.

Основные выводы. Состояние рельефа обработанной поверхности титанового сплава свидетельствует об интенсивном адгезионно-когезионном взаимодействии обрабатываемого материала с абразивным инструментом. Характеристика круга не оказывает существенного влияния на общий характер формирования морфологии. Среднее арифметическое отклонение профиля обработанной поверхности на этапе постоянной длины дуги контакта на 15-40 % больше, чем на этапе выхода. С увеличением скорости шлифования в 1,5 раза средняя концентрация кремния на поверхности титанового сплава возрастает в 1,6-1,8 раза, значимое увеличение среднего значения параметра Ra по длине обработанной поверхности установлено только на этапе выхода.

Список литературы

1. Интенсификация технологических процессов механообработки труднообрабатываемых материалов / В.Ф. Макаров, Д.И. Токарев, А.Х. Половинкин, А.В. Виноградов, А.А. Кириллова // Известия Орловского государственного технического университета. Серия: Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2007. №2. С. 23-27.
2. Старков В.К. Шлифование высокопористыми кругами. М.: Машиностроение, 2007. 688 с.
3. Полетаев В.А., Волков Д.И. Глубинное шлифование лопаток турбин. М.: Машиностроение, 2009. 272 с.
4. Худобин Л.В., Унянин А.Н. Минимизация засаливания шлифовальных кругов. Ульяновск: Ульяновский государственный технический университет, 2007. 299 с.

5. Xipeng Xu, Yiqing Yu. Mechanisms of abrasive wear in the grinding of titanium (TC4) and nickel (K417) alloys // *Wear*. 2003. Vol. 255(7). P. 1421-1426.
6. Curtis D.T., Soo S.L., Aspinwall D.K., Mantle A.L. Evaluation of workpiece surface integrity following point grinding of advanced titanium and nickel based alloys // *Procedia CIRP*. 2016. Vol. 45. P. 47-50.
7. Исследование химического состава поверхностного слоя титанового сплава при шлифовании его кругом из карбида кремния без использования СОТС / С.В. Носенко, В.А. Носенко, А.А. Крутикова, Л.Л. Кременецкий // *СТИН*. 2015. №1. С. 26-29.
8. Nadolny K. A review on single-pass grinding processes // *Journal of Central South University*. 2013. Vol. 20(6). P. 1502-1509.
9. Носенко С.В., Носенко В.А., Кременецкий Л.Л. Влияние правки абразивного инструмента на состояние рельефа обработанной поверхности титанового сплава при встречном глубинном шлифовании // *Вестник машиностроения*. 2014. №7. С. 64-68.
10. Soo S.L., Hood R., Lannette M., Aspinwall D.K., Voice W. Creep feed grinding of burn-resistant titanium (BuRTi) using superabrasive wheels // *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2011. Vol. 53(9-12). P. 1019-1026.
11. Klocke F., Soo S.L., Karpuschewski B., Webster J.A., Novovic D., Elfizy A. Abrasive machining of advanced aerospace alloys and composites // *CIRP Annals-Manufacturing Technology*. 2015. Vol. 64(2). P. 581-604.
12. Профильное глубинное шлифование деталей из титановых сплавов / В.А. Поклад, А.Н. Шутов, В.К. Старков, С.А. Рябцев // *Технология машиностроения*. 2002. №3. С. 14-22.
13. Arnab Kundu, Manish Mukhopadhyay, Sirsendu Mahata, Ayan Banerjee, Bijoy Mandal, Santanu Das. Grinding Titanium grade 1 alloy with an alumina wheel using soap water // *Procedia Manufacturing*. 2018. Vol. 20. P. 338-343.
14. Реченко Д.С. Обработка титановых и жаропрочных сплавов высокоскоростным шлифованием // *Омский научный вестник*. 2008. №4. С. 59-61.
15. Носенко В.А., Носенко С.В. Попутное и встречное глубинное шлифование титанового сплава с периодической правкой круга // *Вестник машиностроения*. 2010. №10. С. 66-71.
16. Носенко С.В., Носенко В.А., Байрамов А.А. Влияние правки абразивного инструмента и направления движения стола на шероховатость обработанной поверхности при глубинном шлифовании заготовок из титановых сплавов // *СТИН*. 2015. №1. С. 21-26.
17. Hood R., Lechner F., Aspinwall D.K., Voice W. Creep feed grinding of gamma titanium aluminide and burn resistant titanium alloys using SiC abrasive // *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. 2007. Vol. 47(9). P. 1486-1492.
18. Носенко В.А., Носенко С.В. Математические модели наработки и режущей способности для различных этапов плоского глубинного шлифования горизонтальных поверхностей кругом прямого профиля // *Проблемы машиностроения и надежности машин*. 2010. №4. С. 92-98.
19. Nosenko S.V., Nosenko V.A., Kremenetskii L.L. The condition of machined surface of titanium alloy in dry grinding // *Procedia Engineering*. 2017. Vol. 206. P. 115-120.

Поступила в редакцию 17.01.18

UDC 621.923:669-1

S.V. Nosenko, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Volzhsky Polytechnical Institute (Branch), Volgograd State Technical University (Volzhsky, Russia) (e-mail: s.v.nosenko@gmail.com)

V.A. Nosenko, Doctor of Engineering Science, Professor, Volzhsky Polytechnical Institute (Branch), Volgograd State Technical University (Volzhsky, Russia) (e-mail: nosenko@volpi.ru)

L.L. Kremenetskii, Post-Graduate Student, Volgograd State Technical University (Volgograd, Russia) (e-mail: kreleonid@yandex.ru)

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF CREEP FEED GRINDING SPEED AND ABRASIVE TOOLS CHARACTERISTICS ON THE QUALITY OF TITANIUM ALLOY SURFACE CONDITION

The process of creep feed grinding of titanium alloy Ti6Al4V with high porosity circles of silicon carbide of 64CF80H12V and 64CF100I12V characteristics produced by JSC "Volzhsky Abrasive Plant" is considered. The morphology and chemical composition of the surfaces obtained at a grinding speed of 20-30 m / s were examined with a double-beam electron microscope.

Surface roughness control was performed using a modern profilograph, profilometer. The chemical composition and roughness of the machined surface were determined in 10 sections, uniformly distributed along the length of the workpiece. It was found out that abrasive tool characteristic does not influence the general character of the formation of the morphology of the titanium alloy surface. It was proved that, as a result of adhesion-cohesive interaction, concentration of silicon on the machined surface of the titanium alloy increases with increasing grinding speed

The increase of the grinding speed by 1.5 ensures the increase in the average silicon concentration by 1.6-1.8 times. The change in the hardness of the grinding wheel does not significantly affect the transfer of the abrasive material to the titanium alloy. The influence of the grinding speed and tool hardness on the values of the arithmetic mean deviation of the profile Ra on the entire length of the workpiece, the stages of the constant length of the arc of the contact and the output was considered. It was found out that the values of Ra parameter at the stage of constant contact arc length are greater than at the output stage by 30-40% when machined with a wheel of 64CF80H12V and by 15-30%, respectively, when machined with a wheel of 64CF100I12V. The increase of the grinding speed from 20 m / s to 30 m / s has a significant effect on the roughness of the machined surface only at the output stage.

Key words: titanium alloy, creep feed grinding, wheel characteristics, grinding speed, morphology, roughness, silicon carbide.

DOI: 10.21869/2223-1560-2018-22-1-94-100

For citation: Nosenko S.V., Nosenko V.A., Kremenetskii L.L. Investigation of the Influence of Creep Feed Grinding Speed and Abrasive Tools Characteristics on the Quality of Titanium Alloy Surface Condition. Proceedings of the Southwest State University, 2018, vol. 22, no. 1(76), pp. 94-100 (in Russ.).

Reference

1. Makarov V.F., Tokarev D.I., Polovinkin A.H., Vinogradov A.V., Kirillova A.A. Intensifikatsiya tehnologicheskikh processov mehanobrabortki trudnoobrabatyvaemykh materialov. Izvestiya Orlovskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta. Seriya: Fundamentalnye i prikladnye problemy tehniki i tehnologii, 2007, no.2, pp. 23-27.

2. Starkov V.K. Shlifovanie vysokopistymi krugami. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2007, 688 p.

3. Poletaev V.A., Volkov D.I. Glubinnoe shlifovanie lopatok turbin. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2009, 272 p.

4. Hudobin L.V., Unyanin A.N. Minimizatsiya zasalivaniya shlifovalnykh krugov. Ulyanovsk, 2007, 299 p.

5. Xipeng Xu, Yiqing Yu. Mechanisms of abrasive wear in the grinding of titanium (TC4) and nickel (K417) alloys. Wear. 2003, vol. 255(7), pp. 1421-1426.

6. Curtis D.T., Soo S.L., Aspinwall D.K., Mantle A.L. Evaluation of workpiece surface integrity following point grinding of advanced titanium and nickel based alloys. *Procedia CIRP*, 2016, vol. 45, pp. 47-50.
7. Nosenko S.V., Nosenko V.A., Krutikova A.A., Kremeneckij L.L. Issledovanie himicheskogo sostava poverhnostnogo sloja titanovogo splava pri shlifovanii ego krugom iz karbida kremnija bez ispol'zovanija SOTS. *STIN*, 2015, no.1, pp. 26-29.
8. Nadolny K. A review on single-pass grinding processes. *Journal of Central South University*, 2013, vol. 20(6), pp. 1502-1509.
9. Nosenko S.V., Nosenko V.A., Kremeneckij L.L. Vlijanie pravki abrazivnogo instrumenta na sostojanie rel'efa obrabotannoj poverhnosti titanovogo splava pri vstrechnom glubinnom shlifovanii. *Vestnik mashinostroeniya*, 2014, no. 7, pp. 64-68.
10. Soo S.L., Hood R., Lannette M., Aspinwall D.K., Voice W. Creep feed grinding of burn-resistant titanium (BuRTi) using superabrasive wheels. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2011, vol. 53(9-12), pp. 1019-1026.
11. Klocke F., Soo S.L., Karpuschewski B., Webster J.A., Novovic D., Elfizy A. Abrasive machining of advanced aerospace alloys and composites. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 2015, vol. 64(2), pp. 581-604.
12. Poklad V.A., Shutov A.N., Starkov V.K., Ryabtsev S.A. Profilnoe glubinnoe shlifovanie detalei iz titanovykh splavov. *Tehnologiya mashinostroeniya*, 2002, no.3. pp. 14-22.
13. Arnab Kundu, Manish Mukhopadhyay, Sirsendu Mahata, Ayan Banerjee, Bijoy Mandal, Santanu Das. Grinding Titanium grade 1 alloy with an alumina wheel using soap water. *Procedia Manufacturing*, 2018, vol. 20, pp. 338-343.
14. Rechenko D.S. Obrabotka titanovykh i zharoprochnykh splavov vysokoskorostnym shlifovaniiem. *Omskii naychnyi vestnik*, 2008, no.4, pp. 59-61.
15. Nosenko V.A. Unidirectional and opposing deep grinding of titanium alloy with periodic wheel adjustment. *Russian Engineering Research*, 2010, vol. 34(10), pp. 1016-1021.
16. Nosenko S.V., Nosenko V.A., Bajramov A.A. Vlijanie pravki abrazivnogo instrumenta i napravlenija dvizhenija stola na sherohovatost' obrabotannoj poverhnosti pri glubinnom shlifovanii zagotovok iz titanovykh splavov. *STIN*, 2015, no.1, pp. 21-26.
17. Hood R., Lechner F., Aspinwall D.K., Voice W. Creep feed grinding of gamma titanium aluminide and burn resistant titanium alloys using SiC abrasive. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 2007, vol. 47(9), pp. 1486-1492.
18. Nosenko V.A., Nosenko S.V. Mathematical models of operating time and cutting capacity for various stages of flat creep feed grinding of horizontal surface by circle of direct profile. *Journal of Machinery Manufacture and Reliability*, 2010, vol. 39(4), pp. 380-385.
19. Nosenko S.V., Nosenko V.A., Kremeneckij L.L. The condition of machined surface of titanium alloy in dry grinding. *Procedia Engineering*, 2017, vol. 206, pp. 115-120.